

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Perpindahan Kalor

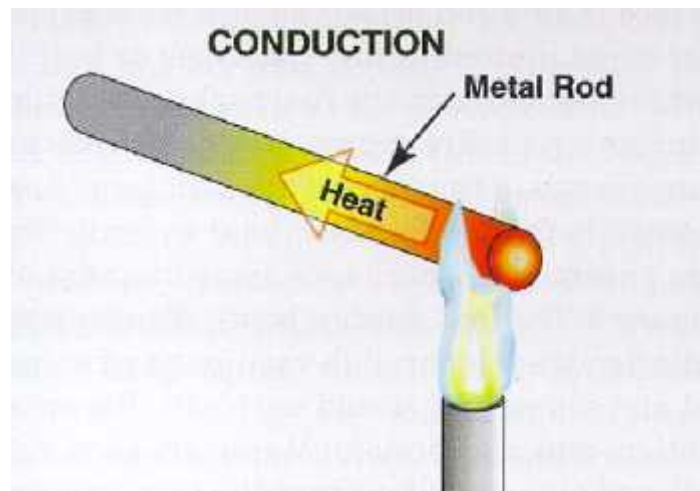
Perpindahan kalor adalah ilmu untuk memprediksi perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material. Ilmu perpindahan kalor tidak hanya menjelaskan bagaimana energi kalor itu berpindah dari suatu benda ke benda lain, tetapi juga dapat memprediksi laju perpindahan yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Perbedaan ilmu perpindahan kalor dengan ilmu lain adalah dapat menganalisis laju perpindahan kalornya yang disebabkan karena pada waktu proses perpindahan itu berlangsung, sistem tidak berada dalam keadaan seimbang, contohnya suatu batangan besi kalor dicelupkan ke dalam air, ilmu perpindahan kalor dapat memprediksi berapa lama suhu batangan besi atau air mengalami keseimbangan atau pada suhu berapa besi atau air mengalami keseimbangan. (Gamma Ajiyantono, 2014)

Perpindahan kalor dapat dibedakan dengan tiga cara pemindahan kalor yang berbeda, yaitu:

- a. Perpindahan kalor secara konduksi
- b. Perpindahan kalor secara konveksi
- c. Perpindahan kalor secara radiasi

2.1.1 Perpindahan Kalor Konduksi

Konduksi adalah proses mengalirnya kalor dari daerah yang bersuhu kalor tinggi kedaerah yang bersuhu lebih rendah di dalam satu media (padat) atau antara media - media berlainan yang bersinggungan secara langsung.



Source : (www.google.com/conduction)

Gambar 2.1 Perpindahan Kalor Konduksi

Aliran kalor konduksi perpindahan kalornya terjadi karena hubungan molekul secara langsung. Konduksi merupakan satu-satunya mekanisme perpindahan kalor yang mampu melewati zat padat yang tidak tembus cahaya. Konduksi juga dapat terjadi pada fluida, tetapi dalam media bukan zat padat biasanya bergabung dengan konveksi dan dalam beberapa hal juga dengan radiasi. (Gamma Ajiyantono,2014)

Persamaan dasar perpindahan kalor konduksi :

$$q_k = -k. A. \left[\frac{dT}{dx} \right]$$

Dimana :

q_k = Laju perpindahan kalor konduksi (Watt)

k = Konduktivitas thermal bahan ($\text{W/m}^2\text{K}$)

A = Luas penampang perpindahan (m^2)

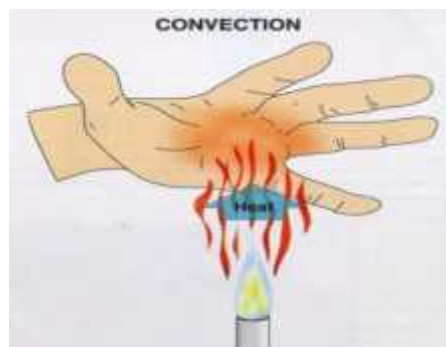
d_T = Perubahan suhu (K)

dx = Jarak dalam arah aliran kalor (m)

Tanda (-) adalah akibat dari kaidah yang mendefinisikan aliran positif dalam arah temperatur gradien yang negatif.

2.1.2 Perpindahan Kalor Konveksi

Konveksi adalah proses perpindahan kalor dengan kerja gabungan dari konduksi kalor, penyimpanan kalor dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan kalor antara permukaan benda padat dan cairan atau gas. Perpindahan kalor dengan cara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya di atas fluida sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, kalor akan mengalir dengan cara konduksi dari partikel-partikel fluida yang berbatasan.



Source : (www.google.com/convection)

Gambar 2.2 Perpindahan Kalor Konveksi

Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel-partikel fluida tersebut akan bergerak ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam fluida. Fluida akan bercampur dan memindahkan sebagian kalornya pada partikel-partikel lainnya. (Gamma Ajiyantono,2014)

Laju perpindahan kalor dipengaruhi oleh luas permukaan perpindahan kalor (A) dan beda menyeluruh antara permukaan bidang dengan fluida, besaran h disebut koefisien perpindahan kalor konveksi, yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$q = h \cdot A (T_w - T_{\infty})$$

Dimana :

q = Laju perpindahan kalor secara konveksi (Watt)

h = Koefisien perpindahan kalor konveksi ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

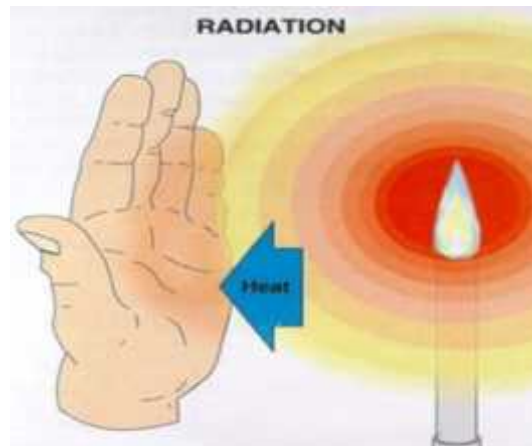
A = Luas perpindahan kalor (m^2)

T_w = Suhu permukaan (K)

T_{∞} = Suhu fluida (K)

2.1.3 Perpindahan Kalor Radiasi

Radiasi adalah proses yang melibatkan perpindahan energi melalui fenomena gelombang elektromagnetik. Perambatan (propagasi) gelombang elektromagnetik menyebabkan radiasi, yang dapat terjadi baik di dalam vakum total maupun di dalam medium. (Gamma Ajiyantono,2014)



Source : (www.google.com/radiation)

Gambar 2.3 Perpindahan Kalor Radiasi

2.2 Alat Penukar Kalor

Heat exchanger atau penukar kalor adalah alat yang digunakan untuk mempertukarkan kalor secara kontinue dari suatu medium ke medium lainnya dengan membawa energi kalor. Menurut T. Kuppan (2000) suatu *Heat exchanger* terdiri dari elemen penukar kalor yang disebut sebagai inti atau matrix yang berisikan di dinding penukar kalor, dan elemen distribusi fluida seperti tangki, *nozzle* masukan, *nozzle* keluaran, pipa-pipa, dan lain-lain. Biasanya, tidak ada pergerakan pada bagian-bagian dalam *Heat exchanger*. Dinding permukaan *Heat exchanger* adalah bagian yang bersinggungan langsung dengan fluida yang mentransfer kalornya secara konduksi.

Menurut Changel (1997) hampir di semua *Heat exchanger*, perpindahan kalor didominasi oleh konveksi dan konduksi dari fluida kalor ke fluida dingin, dimana keduanya dipisahkan oleh dinding. Perpindahan kalor secara konveksi sangat dipengaruhi oleh bentuk geometri *Heat exchanger* dan tiga bilangan tak berdimensi, yaitu bilangan *Reynold*, bilangan *Nusselt* dan bilangan *Prandtl* fluida. Besar konveksi yang terjadi

dalam suatu *double-pipe heat exchanger* akan berbeda dengan *cross-flow heat exchanger* atau *compact heat exchanger* atau *plate heat exchanger* untuk berbeda temperatur yang sama. Sedang besar ketiga bilangan tak berdimensi tersebut tergantung pada kecepatan aliran serta *property* fluida yang meliputi massa jenis, *viskositas absolut*, kalor jenis dan konduktivitas kalor. (Thermodynamics An Engineering Approach 5th Edition, hal 23)

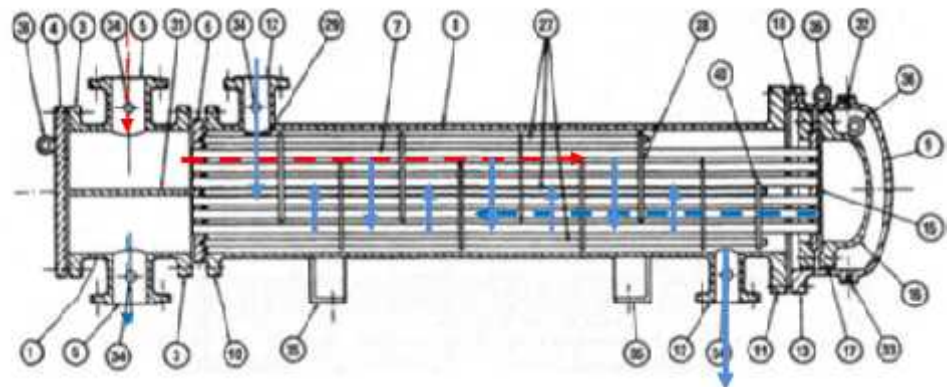
2.2.1 Klasifikasi Alat Penukar Kalor

a. Alat Penukar Kalor Berdasarkan Profil Konstruksi Permukaan

Berdasarkan profil konstruksi permukaan, alat penukar kalor yang digunakan di perindustrian antara lain dengan konstruksi pipa dan tabung (*shell and tube heat exchanger*), pipa bersirip (*tube with extended surface / fins and tube*), dan penukar kalor pelat (*plate heat exchanger*).

1. Tipe pipa dan tabung (*shell and tube*)

Shell & tube heat exchanger terdiri atas suatu bundle pipa yang dihubungkan secara parallel dan ditempatkan dalam sebuah pipa mantel (cangkang). Fluida yang satu mengalir di dalam bundle pipa, sedangkan fluida yang lain mengalir di luar pipa pada arah yang sama, berlawanan, atau bersilangan.



Gambar 2.4 *Shell and Tube Heat Exchanger*

Keterangan *Shell and Tube Heat Exchanger*:

1	Stationary Head Channel	16	Floating Head Cover
3	Stationary Head Flange	17	Floating Head Cover Flange
4	Channel Cover	18	Floating Head Backing Device
5	Stationary Head Nozzle	27	Tierods and Spacers
6	Stationary Tubesheet	29	Transverse Baffles
7	Tubes	31	Pass Partition
8	Shell	32	Vent Connection
9	Shell Cover	33	Drain Connection
10	Shell Flange- Stationary	34	Instrument Connection
Head End			
11	Shell Flange – Rear Head	35	Support Saddle
End			
12	Shell Nozzle	36	Lifting Lug
13	Shell Cover Flange	38	Weir

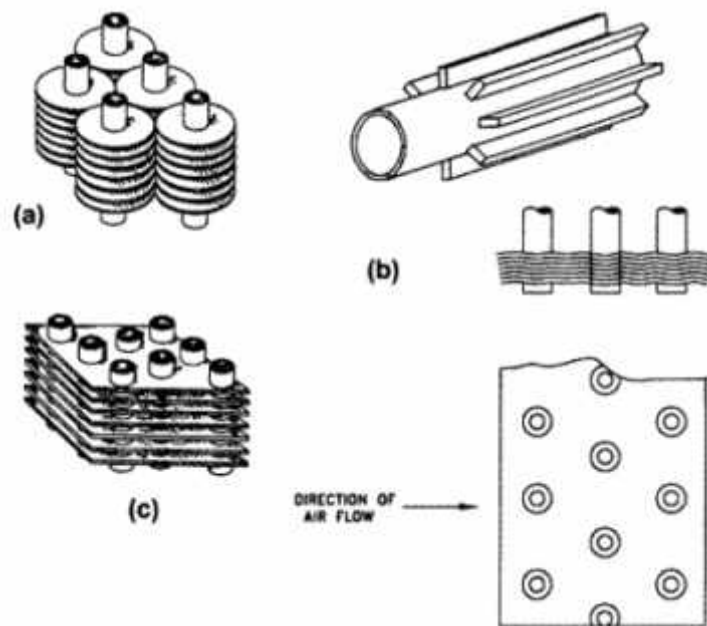
Kedua ujung pipa tersebut dilas pada penunjang pipa yang menempel pada mantel. Peningkatan efisiensi pertukaran panas biasanya pada alat penukar panas cangkang dan buluh dipasang sekat (*baffle*), bertujuan untuk membuat turbulensi aliran fluida dan menambah waktu tinggal (*residence time*), namun pemasangan sekatan memperbesar *pressure drop* operasi dan menambah beban kerja pompa, sehingga laju alir fluida yang dipertukarkan panasnya harus diatur. (Gamma Ajiyantono, 2014)

Alat penukar panas tipe *shell and tube* ini merupakan salah satu alat penukar yang sering digunakan dalam industri karena memiliki beberapa kelebihan, antara lain : mempunyai *lay-out* mekanik yang baik dan bentuknya cukup baik untuk operasi bertekanan, dapat digunakan dalam suhu yang tinggi yaitu 260 °C. Namun disisi lain juga terdapat kerugiannya, antara lain : membutuhkan ruang yang besar dalam penempatannya, dan proses *maintenance* yang susah dan mahal.

2. Tipe Pipa Bersirip (*fins and tubes*)

Alat penukar kalor tipe pipa bersirip digunakan secara umum untuk fluida cair dan fluida gas, dimana fluida gas dialirkan di luar pipa, yaitu bagian yang bersirip. Hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan efektivitas transfer energy karena biasanya pada sisi gas (bagian *fins*) memiliki koefisien perpindahan kalor yang kecil

sehingga sebagai dampaknya, diperlukan luas permukaan perpindahan kalor yang relative tinggi agar laju transfer energinya meningkat. Contoh *heat exchanger* dengan tipe pipa bersirip banyak digunakan pada radiator mobil, kondenser, evaporator mesin pendingin dsb.



Gambar 2.5 Tipe pipa bersirip (*fins and tubes*)

Keterangan :

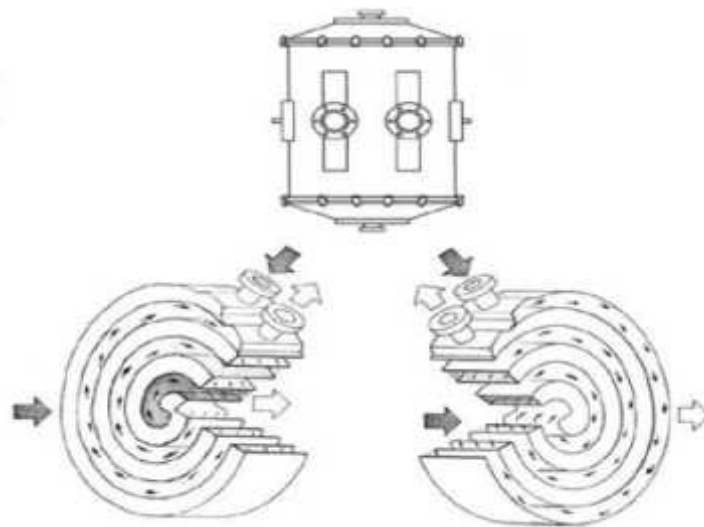
- a. Normal fin
- b. Longitudinal fin
- c. Continuous fin

Selain itu alat penukar kalor bertipe pipa bersirip ini mempunyai keuntungan dan kerugian dalam pemakaiannya. Untuk keuntungan dari alat penukar kalor ini adalah dapat mentransfer panas tinggi terutama dalam efisiensi gas, alat lebih ringan 5 kali dari berat *shell and tube* dan mempunyai luas permukaan transfer

lebih besar. Namun disisi lain alat ini juga mempunyai beberapa kerugian antara lain : sulit untuk membersihkan jalur-jalurnya, jalur yang sempit dapat menyebabkan *clogging*.

3. Tipe Spiral (*Spiral Heat Exchanger*)

Pada *spiral heat exchanger*, arah aliran fluida menelusuri pipa spiral dari luar menuju pusat spiral dari luar menuju pusat spiral atau sebaliknya dari pusat *spiral* menuju keluar. Proses perpindahan kalor akan efektif bergantung pada lebar *spiral* dan diameter serta jumlah spiral yang ada dari pusat hingga diameter terluar.



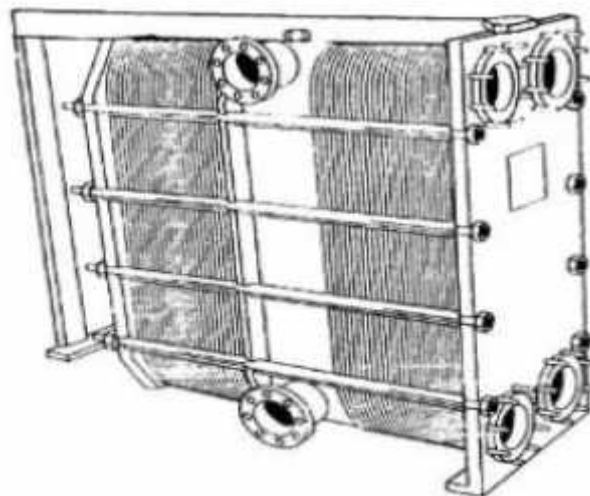
Gambar 2.6 *Spiral Heat Exchanger*

Fluida pada alat penukar panas ini biasanya mengalir dengan arah yang berlawanan, yaitu dengan mengalirkan fluida dingin pada sekelilingnya sehingga mengalir kearah pusat, sedangkan fluida panas dimasukkan pada pusat tersebut sehingga mengalir kearah sekelilingnya. Sehingga alat ini mempunyai keuntungan yaitu efisien dalam penggunaan ruang, dan mudah

dibersihkan. Sedangkan untuk kekurangannya sendiri yaitu : perbaikan untuk spiral plate heat exchanger cukup sulit dan alat tidak digunakan pada siklus temperatur yang berulang-ulang.

4. Tipe pelat (*plate heat exchanger*)

Alat penukar kalor tipe pelat memiliki tingkat kekompakkan yang tinggi. Alat penukar kalor ini terdiri dari pelat-pelat yang sudah dibentuk dan ditumpuk sedemikian rupa sehingga alur aliran untuk suatu fluida akan terpisahkan oleh pelat itu sendiri terhadap aliran fluida satunya dipisahkan dengan gasket. Jadi kedua fluida yang saling dipertukarkan energinya tidak saling bercampur.



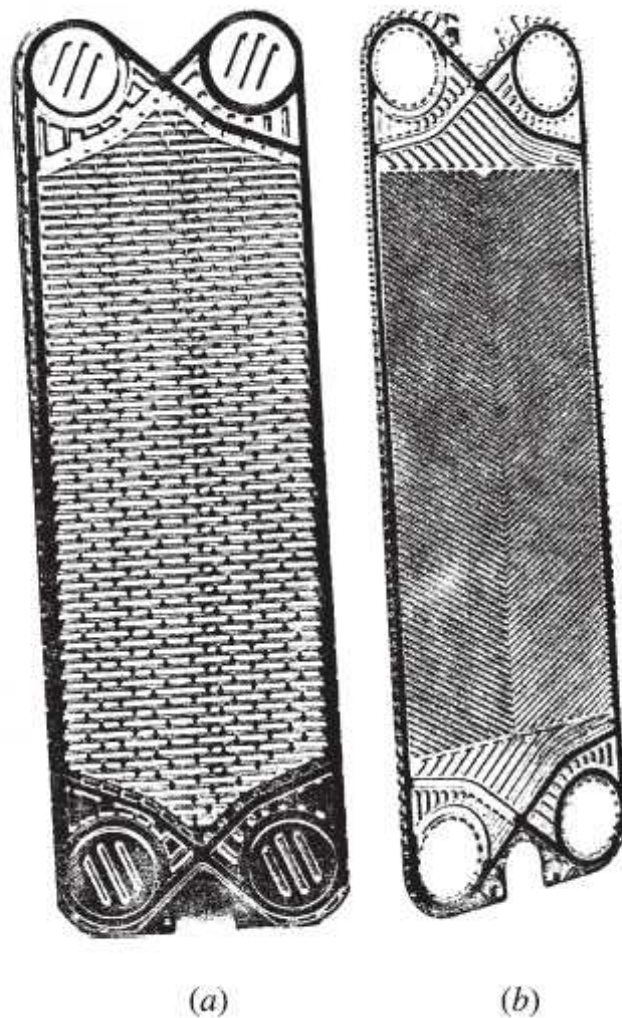
Gambar 2.7 *Plate Heat Exchanger*

Dilain sisi alat ini mempunyai beberapa keuntungan yaitu : hanya membutuhkan ruang yang kecil, mudah dibersihkan, konstruksinya sederhana, dan perawatannya mudah. Sedangkan untuk kerugiannya sendiri adalah memiliki potensi kebocoran, maksimum temperatur operasi terbatas hingga 250 °C dan tekana 30 bar.

b. Alat Penukar Kalor Berdasarkan Susunan Aliran Fluida

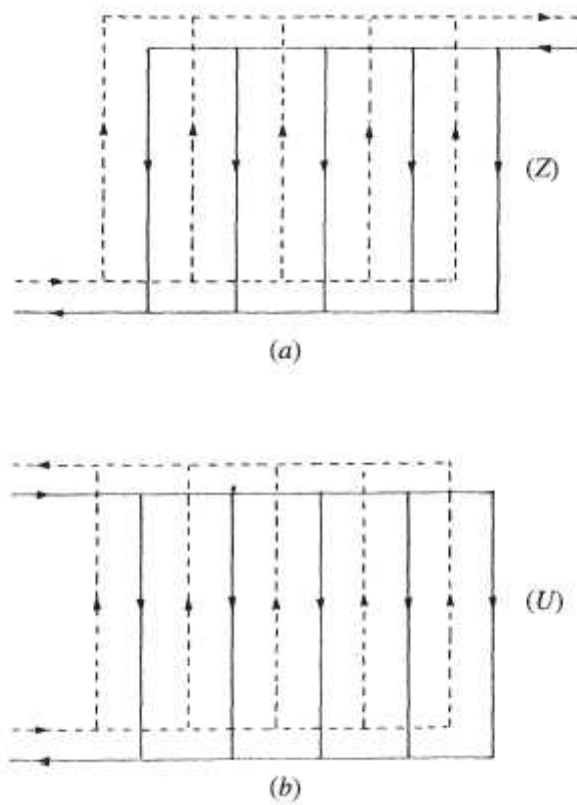
Dua bentuk kerut yang paling banyak digunakan adalah tipe *chevron* dan *intermatting*. Keduanya ditunjukkan pada gambar 2.8. Kekuatan kerut pada plat meningkatkan luas permukaan perpindahan kalor dan secara aktual meningkatkan mekanisme perpindahan kalor.

Bagian luar plat dari perakitan tidak memberikan kontribusi perpindahan kalor fluida ke fluida. Oleh karena itu , langkah yang efektif adalah jumlah total plat dikurangi dua. Kenyataan ini menjadi kurang dan kurang penting karena jumlah plat menjadi besar. Hal ini dapat diperhatikan bahwa plat angka ganjil harus digunakan untuk memastikan jumlah saluran untuk fluida kalor dan dingin. Pada gambar 2.9a mengindikasikan bahwa *frame* tersusun dari bagian yang *fixed* pada kepalanya dan disisi lain dapat dilepas. Fluida masuk melalui *ports* yang bertempat disatu atau kedua di akhir plat. Jika kedua masukan dan keluaran pada kedua fluida bertempat di bagian yang *fixed* / tetap, maka unit mungkin dapat dibuka tanpa merusak bagian luar pipa.



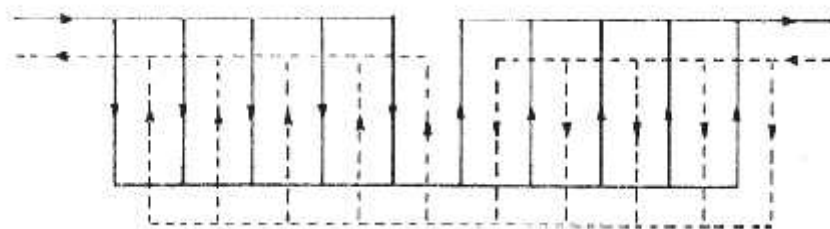
Gambar 2.8 (a) *Intermating Plate* (b) *Chevron Plate*

Sebuah lintasan tunggal baik fluida dari atas ke bawah (atau bahkan, bawah ke atas) disebut *pass* dan *single* atau memungkinkan aliran *multipass*. Aliran *Counter* atau *co-current* dicapai dalam apa yang disebut *looped flow* atau *1/1 arrangement*, dapat dilihat dalam gambar 2.9 a dan b.

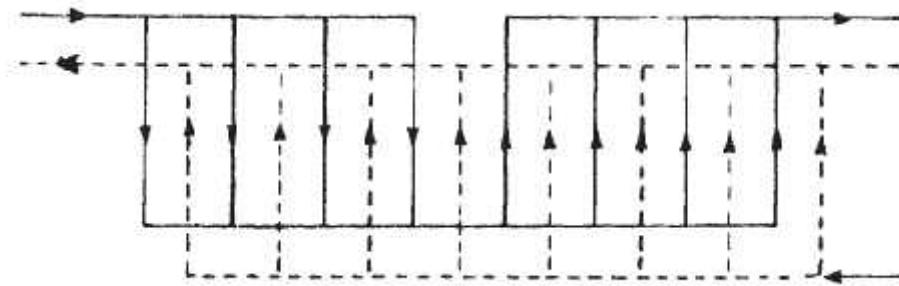


Gambar 2.9 (a) Z-arrangement (b) U-arrangement

Disebut Z atau *zed arrangement*, dua sisi yang ditampilkan pada kepala keduanya tetap dan dapat dilepas. Dalam *U arrangement* pada gambar 2.9b, pada empat sisinya adalah kepala tetap. *Two pass/two pass* atau *2/2 arrangement* ditunjukkan pada gambar 2.10, dan *two pass/one pass* atau *2/1 arrangement* ditunjukkan pada gambar 2.11. (Heat Transfer Handbook, 2003, hal 881)



Gambar 2.10 Two-pass/two-pass flow



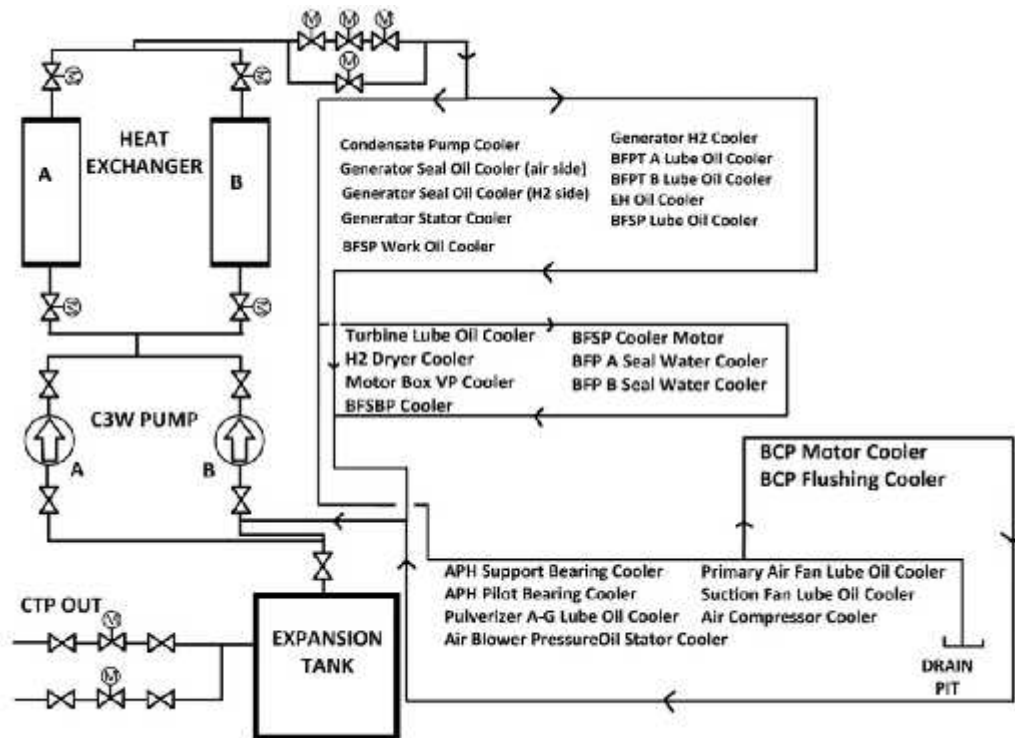
Gambar 2.11 *Two-pass/one-pass flow*

Perbedaan di kedua plat tersebut adalah terlihat dari sudut lintasannya. Sudut lintasan plat *chevron* yaitu simetris $30^\circ/30^\circ$, $60^\circ/60^\circ$ dan selain itu juga mempunyai *reynold number* berkisar 500 sampai 2500 dan *prandtl number* berkisar 3,5 sampai 6,5. Dan selain itu plat *chevron* memberikan peningkatan *pressure drop*.

2.2.2 Alat Penukar Kalor *Plate Heat Exchanger* PLTU Indramayu

Alat penukar kalor tipe pelat memiliki tingkat kekompakan yang tinggi. Alat penukar kalor ini terdiri dari pelat-pelat yang sudah dibentuk dan ditumpuk sedemikian rupa sehingga alur aliran untuk suatu fluida akan terpisahkan oleh pelat itu sendiri terhadap aliran fluida satunya dipisahkan dengan gasket. Jadi kedua fluida yang saling dipertukarkan energinya tidak saling bercampur.

PLTU 1 Jawa Barat Indramayu memakai jenis pelat *titanium* *titanium* yang dimaksudkan agar tidak terjadi korosi di plat-plat *heat exchanger*. Pemilihan *titanium* tersebut dipilih agar tidak selalu mengganti plat-platnya karena *titanium* adalah salah satu bahan yang tahan akan korosi.



Gambar 2.12 Skema Alir Pendinginan *Closed Cooling*

Pada skema alir pendinginan *closed cooling* di PLTU Indramayu, air demin di sirkulasi ke dalam sistem PLTU dimana air demin berfungsi untuk mendinginkan *lube oil*, *seal water*, dan udara yang digunakan untuk mendinginkan peralatan-peralatan yang terdapat diseluruh sistem PLTU. Setelah air demin digunakan untuk mendinginkan beberapa fluida pada sistem, maka air demin akan menjadi panas karena menyerap panas pada fluida lain. Sehingga untuk mengembalikan temperatur pada air demin dibutuhkan *plate heat exchanger*. Di dalam *plate heat exchanger* air demin yang panas akan didinginkan oleh air laut yang dialirkan ke dalam alat PHE, sehingga terjadi perpindahan panas diantara kedua fluida tersebut. Dengan adanya perpindahan panas tersebut maka air demin akan menjadi dingin kembali dan dapat disirkulasikan kembali ke dalam sistem untuk mendinginkan fluida yang mendinginkan peralatan-peralatan pada PLTU.



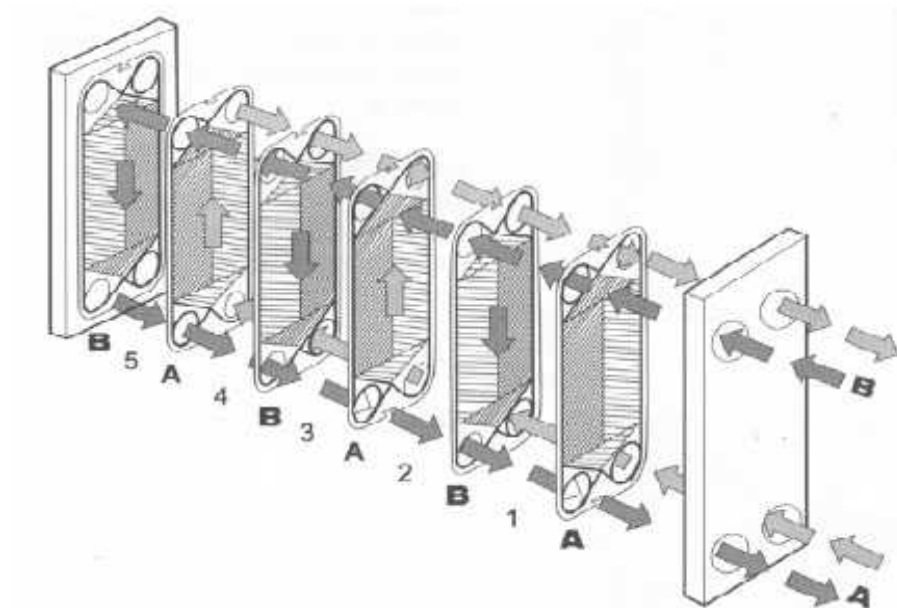
Dokumentasi PLTU 1 Jawa Barat Indramayu

Gambar 2.13 Plate Heat Exchanger

Ketika pengikat kombinasi dari plat disatukan, bagian saluran dihasilkan untuk membuat sebuah penghantar (*heat transfer medium*) yang mengalir ke kombinasi plat – plat dari sisi masuk penghantar lalu dialirkan ke saluran kecil plat. Karena untuk urutan perakitan dari plat A dan plat B membalik secara bergantian, kedua fluida mengalir ke dalam saluran kecil, seperti misalnya fluida kalor mengalir kedalam saluran yang berurutan ganjil tetapi fluida dingin mengalir kedalam saluran yang berurutan genap. Secara umum, kedua fluida akan mengalir berlawanan arah.

Tabel 2.1 Spesifikasi *Plate Heat Exchanger*

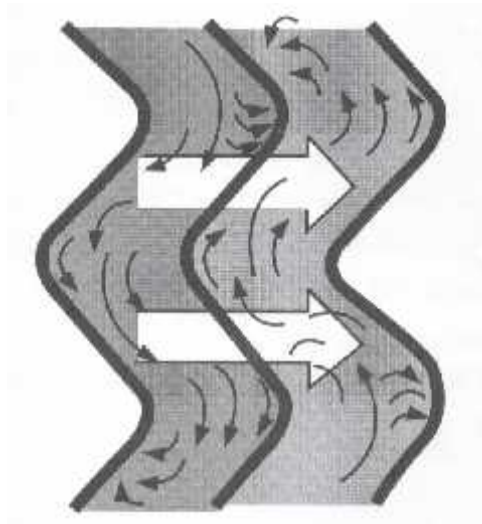
<i>Closed Cycle Cooling Water Heat Exchanger</i>			
No	Item	<i>Exchanger</i>	
		<i>Closed type water side (secondary water)</i>	<i>Opened type water side (primary water)</i>
1	PHE Type	<i>Plate Type</i>	
2	Media Operasi	Air Demineralisasi	Air Laut
3	Tekanan Operasi	0.4 – 0.7 Mpa.g	0.12 – 0.15 Mpa.g
4	Temperatur Masuk	45°C	30°C
5	Temperatur Keluar	36°C	38.9°C
6	<i>Flow Rate</i>	584,5 m ³ /h	555,6m ³ /h
7	<i>Plate Material</i>	Titanium	



Sumber : operation manual PHE

Gambar 2.14 Arah aliran fluida

Ketika fluida kalor mengalir melalui PHE, kapasitas partikel kalor yang ditranfer ke dinding – dinding plat akan diserap oleh partikel fluida dingin melalui dinding – dinding plat. Tujuan dari PHE adalah untuk membuat kapasitas fluida kalor di transfer ke fluida lain dan menjadikan keluaran dari fluida kalor tersebut menjadi lebih dingin dari sebelumnya. Plat logam ditekan oleh *waveform* khusus yang bukan hanya meningkatkan kekuatan tetapi juga meningkatkan efisiensi transfer kalor sehingga temperatur fluida kalor akan turun dan fluida dingin akan naik. Dan pada akhirnya, kedua fluida tersebut akan keluar melalui saluran masing – masing dan keluar dari *heat exchanger*.



Sumber : operation manual PHE

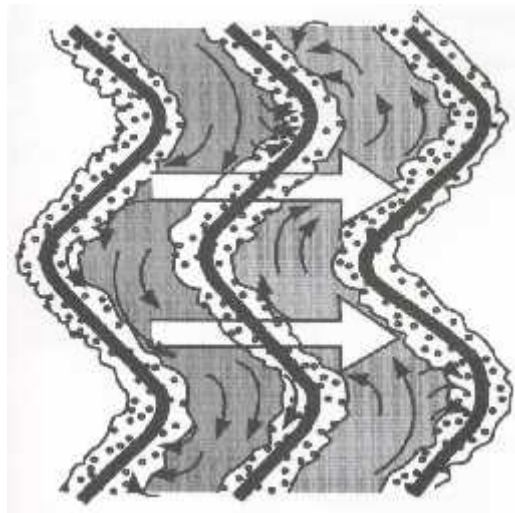
Gambar 2.15 Transfer Kalor antar Fluida

Permasalahan yang terjadi pada PLTU 1 Jawa Barat Indramayu salah satunya adalah terjadinya pengotoran pada plat-plat yang dikarenakan oleh lolosnya biota-biota laut seperti kerang-kerang kecil dll. Hal tersebut dapat mengganggu laju perpindahan kalor dari air *closed cooling* ke air *open cooling* (air pendingin utama).



Dokumentasi PLTU 1 Jawa Barat Indramayu

Gambar 2.16 Plate Heat Exchanger

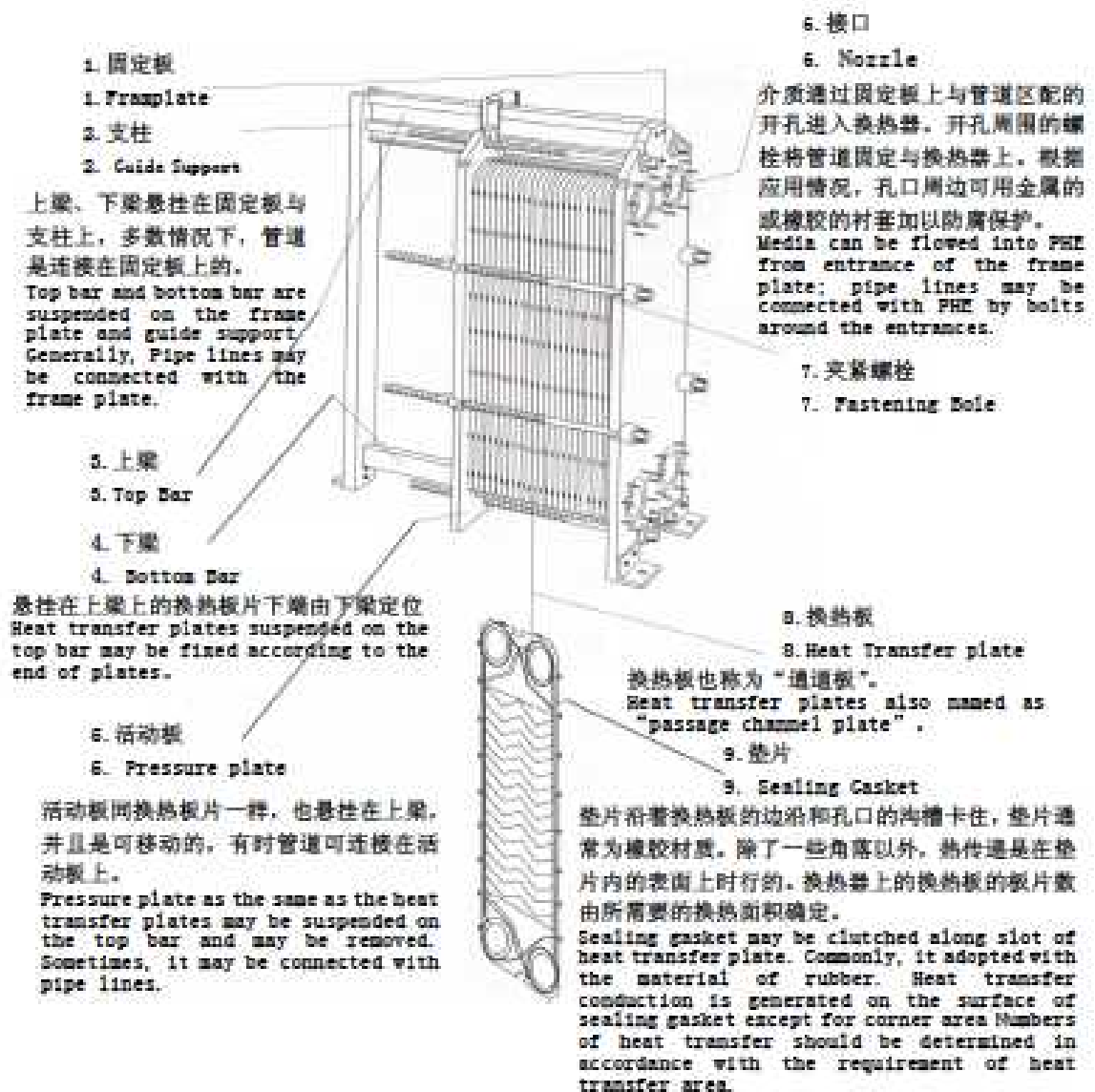


Gambar 2.17 Pengotoran pada PHE

Dari gambar 2.16 diperlihatkan bahwa pada plat-plat *heat exchanger* terdapat pengotoran dimana hal tersebut berpengaruh pada debit fluida yang melewatinya. Selain itu juga memengaruhi perpindahan antar media dan fluida, sehingga pertukaran panas tidak terjadi dengan sempurna. Hal tersebut juga membuat aliran fluida menjadi turbulen.

2.3 Komponen *Plate Heat Exchanger*

Komponen-komponen *plate heat exchanger* dibedakan menjadi beberapa bagian, dimana setiap bagian tersebut mempunyai fungsi yang berbeda-beda. Berikut adalah gambar dari komponen-komponen tersebut (Siping Juyuan Hanyang Plate Heat Exchanges Co., Ltd) :



Gambar 2.18 PHE Main Structure and Function

2.3.1 *Frame Plate*

Framplate (Gambar 2.18 nomor 1) berfungsi sebagai jalur tempat *plate* di pasang. Bagian ini dapat dilepas sehingga memudahkan alat dalam dilakukan pembersihannya.

2.3.2 *Guide Support*

Guide Support (Gambar 2.18 nomor 2) adalah sebuah tiang atas dan tiang bawah yang tergantung pada kerangka plat dan paduan yang lain. Pada secara umum, saluran pipa dapat dihubungkan dengan kerangka plat. Bagian ini sangat penting karena untuk menjaga agar konstruksi alat tetap tegak.

2.3.3 *Top Bar dan Bottom Bar*

Top Bar (Gambar 2.18 nomor 3) merupakan sebuah kerangka besi yang berada di bagian atas dari PHE dimana berfungsi sebagai tempat tergantungnya plat – plat dari *heat exchanger* tersebut.

Bottom Bar (Gambar 2.18 nomor 4) merupakan plat *heat exchanger* yang tergantung pada *top bar* yang disatukan berdasarkan urutan dari awal hingga akhir plat.

2.3.4 *Pressure Plate*

Pressure Plate (Gambar 2.18 nomor 5) sama seperti halnya plat *heat exchanger* yang tergantung di bagian *top bar*, namun *pressure plate* dapat dilepas dan kemudian dapat disatukan kembali dengan plat – plat yang lainnya. Bagian ini sangat penting untuk alat karena berfungsi untuk menekan plat agar tidak terjadi kebocoran.

2.3.5 Nozzle

Nozzle (Gambar 2.18 nomor 6) merupakan sebuah alat yang dapat dialirkan kedalam *PHE* dari masukan rangka plat, saluran pipa dapat dihubungkan dengan *PHE* oleh baut disekeliling saluran masuk. Bagian yang merupakan tempat lalu lalangnya fluida, baik fluida *open cooling* maupun *closed cooling*.

2.3.6 Heat Transfer Plate

Heat Transfer Plate (Gambar 2.18 nomor 8) atau yang sering disebut dengan “*Passage Channel Plate*” merupakan sebuah plat yang digunakan untuk media penghantar fluida dalam mentransfer panas dari air *closed cooling* ke air *open cooling*. Sebagai tempat atau penghantar panas agar terjadi perpindahan kalor antar fluida yang saling bersinggungan.

2.3.7 Sealing Gasket

Sealing Gasket (Gambar 2.18 nomor 9) yang terletak dihimpit sepanjang celah *PHE*. Secara umum, *sealing gasket* berbahan dari karet. Pertukaran panas konduksi dihasilkan pada permukaan *sealing gasket* kecuali untuk daerah sudut dimana sejumlah perpindahan panas sebaiknya ditentukan sesuai dengan yang dibutuhkan luas perpindahan panas.

2.4 Penggunaan Rumus

2.4.1 Rasio Perpindahan Panas

Rasio perpindahan panas digunakan untuk menentukan rumus NTU_{min} yang akan digunakan untuk menghitung langkah selanjutnya. Dapat dihitung dengan menggunakan rumus (G.F Hewitt,1993):

$$R = \frac{T_{h,in} - T_{h,out}}{T_{c,out} - T_{c,in}}$$

Keterangan :

R : Rasio Perpindahan Panas

$T_{h,in}$: Suhu fluida panas masuk (°C)

$T_{h,out}$: Suhu fluida panas keluar (°C)

$T_{c,in}$: Suhu fluida pendingin masuk (°C)

$T_{c,out}$: Suhu fluida pendingin keluar (°C)

2.4.2 Kapasitas Kalor

Kapasitas kalor merupakan hasil perkalian dari *massflow* (baik air laut maupun air demin) dengan nilai kalor jenis. Berikut merupakan rumusnya :

$$C_{cold} = \dot{M}_{cold} \cdot C_{p,cold} \quad \text{dan} \quad C_{hot} = \dot{M}_{hot} \cdot C_{p,hot}$$

Keterangan :

C_{cold} : Kapasitas kalor fluida dingin (Kj/s.°C)

C_{hot} : Kapasitas kalor fluida panas (Kj/s.°C)

\dot{m}_{cold} : Laju alir massa fluida dingin (Kg/s)

\dot{m}_{hot} : Laju alir massa fluida panas (Kg/s)

C_p : Nilai Kalor Jenis Fluida (Kj/kg.°C)

2.4.3 ΔT_{LMTD} (Log Mean Temperature Different)

Pada alat penukar kalor plat, fluida dapat mengalir dalam aliran berlawanan. Beda suhu antara kedua aliran yang berlawanan inilah yang sering disebut beda suhu rata-rata. Dalam kasus yang terjadi pada *plate heat exchanger*, perpindahan kalor terjadi secara berlawanan arah antara *closed cooling* air yang masuk dengan air *open cooling* yang masuk kedalam plat. Sehingga untuk mendapatkan beda suhu rata-rata (ΔT) dari *plate heat exchanger* menggunakan rumus (G.F Hewitt,1993):

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

Dimana,

$$\Delta T_1 = T_{h,in} - T_{c,out}$$

$$\Delta T_2 = T_{h,out} - T_{c,in}$$

Keterangan :

$T_{h,in}$: Suhu fluida panas masuk °C

$T_{h,out}$: Suhu fluida panas keluar °C

$T_{c,in}$: Suhu fluida pendingin masuk °C

$T_{c,out}$: Suhu fluida pendingin keluar °C

2.4.4 *NTU min (Number of Transfer Unit)*

Nilai *NTU_{min}* dapat ditentukan oleh adanya hasil dari perhitungan nilai R pada pembahasan sebelumnya. Hasil dari nilai R akan menentukan bahwa *NTU_{min}* yang digunakan merupakan *NTU_{min hot}* atau *NTU_{min cold}*. Maka dapat dirumuskan sebagai berikut (G.F Hewitt,1993):

Apabila nilai $R < 1$, maka

$$NTU_c = NTU_{min} = \frac{T_{c,out} - T_{c,in}}{\Delta T_m}$$

Apabila nilai $R > 1$, maka

$$NTU_h = NTU_{min} = \frac{T_{h,in} - T_{h,out}}{\Delta T_m}$$

Keterangan :

$T_{h,in}$: Suhu fluida panas masuk °C

$T_{h,out}$: Suhu fluida panas keluar °C

$T_{c,in}$: Suhu fluida pendingin masuk °C

$T_{c,out}$: Suhu fluida pendingin keluar °C

ΔT_m : Beda suhu rata-rata °C

2.4.5 Nilai Cr (*Ratio Capacity*)

Nilai Cr digunakan untuk mencari *effectiveness*, penggunaan Cr ini diperlukan karena didalam rumus *effectiveness* (E) sendiri terdapat unsur Cr. Untuk mencari Cr maka dapat menggunakan rumus :

$$Cr = \frac{\dot{M}_{cp \min}}{\dot{M}_{cp \max}}$$

2.4.6 Effectiveness (-NTU)

-NTU atau *Number of Transfer Unit* dapat dicari setelah nilai Cr dicari, sehingga rumus yang digunakan adalah sebagai berikut (G.F Hewitt,1993):

$$E = \frac{\exp(1 - Cr) \exp(NTU_{min}) - 1}{\exp(1 - Cr) \exp(NTU_{min}) - Cr}$$